INFORME DE LA PRÁCTICA 2
EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA

MECÁNICA DE FLUIDOS
CURSO 2006/2007

Profesor:
Alberto Peña Bandres
Alumnos:
Iñigo Caño Echevarría
Iñigo Acedo Gutiérrez
Iñigo Alonso Fernández

Grupo 1

Objeto del ensayo

Evaluar las pérdidas de energía primarias (por fricción o continuas) y secundarias (menores o localizadas) en diversas tuberías y elementos de un circuito hidráulico.

Peticionario del ensayo

El ensayo corresponde a la segunda práctica de laboratorio de la asignatura "Mecánica de Fluidos", impartida por el Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos en la ETSI de Bilbao.

Agenda del ensayo

Dado el carácter de trabajo colectivo de la actividad, fueron necesarias tres sesiones de trabajo en grupo:

22 de Marzo de 2007:	Trabajo previo al laboratorio, cálculos teóricos
26 de Marzo de 2007:	Jornada en laboratorio, toma de datos experimentales
12 de Abril de 2007:	Redacción del presente informe

Dispositivo de ensayos

Esta práctica se realizó sobre un panel de ensayos situado en el laboratorio de Mecánica de Fluidos. Dicho panel consta de un circuito con todos los elementos sometidos a ensayo así como de sendos manómetros de columna de mercurio y de agua.

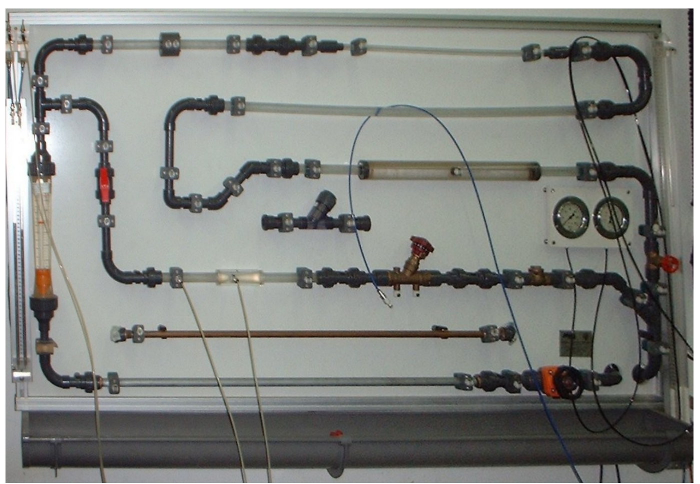


Ilustración 1: Panel de ensayos de pérdida de carga

Instrumentos de medida empleados

Rotámetro:
Empleado para medir el caudal de alimentación del circuito, controlado por la válvula de membrana de su entrada.

Termómetro:
La temperatura del agua del circuito influye en algunas características físicas de la misma, como la densidad.

Manómetros:
Sendos manómetros de mercurio y agua (empleado para las medidas que requerían de una mayor sensibilidad) se emplean para medir caídas de presión entre pares de secciones del circuito.

Procedimiento de ensayos

1. Se puso en marcha la instalación y se abrieron completamente todas las válvulas para expulsar el aire, se purgaron los manómetros y se tomó la temperatura del agua (medida que se repitió periódicamente).
2. Para cada una de las medidas se reguló el caudal mediante el rotámetro.
3. Las válvulas de compuerta y de bola se abrieron y se cerraron para, en cada caso, alimentar la parte del circuito en la que se encontraban los elementos que iban a ser sometidos a examen.
4. Se midieron mediante los manómetros las pérdidas de energía continuas en una misma tubería atravesada por diferentes caudales y en diferentes tuberías atravesadas por un mismo caudal, así como las pérdidas de carga localizadas en sendos codos de 90 y 45 grados y en válvulas con distintos grados de apertura y distintos caudales.

Resultados obtenidos

- **Pérdidas de energía primarias (continuas o por fricción)**
  1. Caídas de presión en una tubería (tubería 14) de PVC de un metro (1m) de longitud y veintiuno coma dos milímetros (21.2mm) de diámetro interior para distintos caudales:

Temperatura del agua: 21ºC

Caudal [l/h]	***ΔP [mmHg]***
3000	17
2600	13
2000	9
1200	3,97 (=54 mmH_2O)

  2. Caídas de presión en dos tuberías de PVC de un metro (1m) y veintiuno coma dos milímetros (21.2mm) (tubería 14) y cincuenta centímetros (0.5m) y trece coma seis milímetros (13.6mm) (tubería 12) de longitud y diámetro interior respectivamente y en una tubería de otro material (tubería 7) de un metro (1m) de longitud y dieciséis milímetros de diámetro interior (16mm) para un caudal de agua de tres mil litros por hora (3000l/h):

Temperatura del agua: 21ºC

Tubería	***ΔP [mmHg]***
14	17
12	7,36 (=100 mmH_2O)
7	6,25 (=85 mmH_2O)

- **Pérdidas de energía secundarias (localizadas o menores)**
  1. Caídas de presión en un codo de noventa grados (90º), un codo de cuarenta y cinco grados (45º), un ensanchamiento brusco, un estrechamiento brusco, una válvula de compuerta, una válvula de bola y una válvula antirretorno para un caudal de tres mil litros por hora (3000l/h):

     Temperatura del agua: 25ºC

Accesorio	***ΔP [mmHg]***
Codo 90º	10,3 (=140 mmH_2O)
Codo 45º	5,52 (=75 mmH_2O)
Ensanchamiento brusco	6,25 (=85 mmH_2O)
Estrechamiento brusco	25,75 (=350 mmH_2O)
Válvula de Compuerta	40
Válvula de Bola	10
Válvula Antirretorno	56

  2. Caídas de presión en una válvula de asiento para distintos grados de apertura de la misma y para distintos caudales:

     Temperatura del agua: 25ºC

Grado de apertura	***Caudal [l/h]***	***ΔP [mmHg]***
4 (total)	2600	72
4 (total)	2000	40
4 (total)	1200	15
3,2	2600	80
3,2	2000	35
3,2	1200	18
2,5	2600	150
2,5	2000	92
2,5	1200	35
2	2600	435
2	2000	260

Grado de apertura	*Caudal [l/h]*	*ΔP [mmHg]*
2	1200	85

Evaluación de los resultados

Con los resultados obtenidos se rellenaron las tablas confeccionadas en el trabajo previo al laboratorio y se compararon en el propio laboratorio los datos experimentales con los teóricos.

Los resultados obtenidos a lo largo del experimento no concuerdan en casi ningún caso con los valores obtenidos teóricamente, manteniéndose sin embargo casi siempre (excepto en el caso del ensanchamiento-estrechamiento) una correlación en las tendencias de los resultados en la misma dirección. Las pérdidas primarias se ven aumentadas por una mayor longitud de la tubería, un menor diámetro interno de la misma, el aumento del caudal que circula por ella y por una mayor rugosidad relativa. Por su parte las pérdidas secundarias en los elementos ensayados son mayores cuanto mayor sea el caudal que los atraviesa y en general cuanto mayor es la distorsión en la trayectoria normal del fluido (mayor ángulo en los codos, válvulas más cerradas, estrechamientos bruscos...).

Entre las posibles fuentes de error de las medidas cabe destacar el quizás escaso tiempo que se permitió de estabilización a los manómetros a la hora de tomarse las medidas, además de la precisión (posibles burbujas de aire en los manómetros) y la sensibilidad de los instrumentos de medida, así como variaciones de la temperatura a lo largo del experimento y en general todos los errores propios de las mediciones (accidentales, aleatorios, sistemáticos, etc.). A estos errores hay que sumar los propios de las simplificaciones introducidas en las ecuaciones teóricas, que sin duda acentúan aún más la disparidad de los resultados teóricos con los experimentales.

Los resultados experimentales obtenidos constituyen una muestra demasiado escasa para realizar un estudio estadístico de los mismos, de forma que resulta imposible diferenciar entre errores sistemáticos y/o aleatorios que se estén produciendo en las mediciones.

- **Pérdidas de energía primarias (continuas o por fricción)**
  1. Caídas de presión en una tubería (tubería 14) de PVC de un metro (1m) de longitud y veintiuno coma dos milímetros (21.2mm) de diámetro interior para distintos caudales:

     Temperatura del agua: 21ºC

Caudal [l/h]	*$\Delta P_{experimental}$ [mmHg]*	*$\Delta P_{teórico}$ [mmHg]*
3000	17	4,145
2600	13	3,216
2000	9	2,022
1200	4 (=54 mmH_2O)	0,824

  2. Caídas de presión en dos tuberías de PVC de un metro (1m) y veintiuno coma dos milímetros (21.2mm) (tubería 14) y cincuenta centímetros (0.5m) y trece coma seis milímetros (13.6mm) (tubería 12) de longitud y diámetro interior respectivamente y en una tubería de otro material (tubería 7) de un metro (1m) de longitud y dieciséis milímetros de diámetro interior (16mm) para un caudal de tres mil litros por hora (3000l/h):

     Temperatura del agua: 21ºC

Tubería	*ΔP$_{experimental}$ [mmHg]*	*ΔP$_{teórico}$ [mmHg]*
14	17	4,145
12	7,36 (=100 mmH_2O)	17,307
7	6,25 (=85 mmH_2O)	16,358

- **Pérdidas de energía secundarias (localizadas o menores)**
  1. Las caídas de presión medidas en el ensanchamiento brusco y en el estrechamiento brusco no concuerdan con lo que indicaba la teoría, según la cual en un estrechamiento brusco con una relación de diámetros menor de uno partido por raíz cuadrada de dos (como es el caso que nos ocupa) la caída de presión ha de ser menor que en un ensanchamiento brusco con la misma relación de diámetros. Las diferencias entre los datos teóricos y los experimentales son tan acusadas en este caso que no cabe sino cuestionarse si la toma de los datos se realizó correctamente o si las ecuaciones empleadas en el cálculo teórico se ajustan a las condiciones del ensayo.

     Temperatura del agua: 25ºC

Accesorio	*ΔP$_{experimental}$ [mmHg]*	*ΔP$_{teórico}$ [mmHg]*
Ensanchamiento brusco	6,25 (=85 mmH_2O)	12,67 (=172,3 mmH_2O)
Estrechamiento brusco	25,75 (=350 mmH_2O)	8,12 (=110,4 mmH_2O)

  2. Las caídas de presión en los codos de noventa grados (90º) y de cuarenta y cinco grados (45º), la válvula de asiento para distintos grados de apertura de la misma y para distintos caudales y en la válvula de compuerta, la válvula de bola y la válvula antirretorno para un caudal de tres mil litros por hora (3000l/h) no se calcularon teóricamente al no disponerse de datos acerca de los coeficientes de descarga de las válvulas ni su relación con los grados de apertura. Los cálculos de los coeficientes de descarga de las válvulas calculados a partir de las medidas experimentales se detallan a continuación:

Tipo de válvula	**Grado de apertura**	**Q [l/h]**	**H_s [m]**	**ΔP [mmHg]**	**C_d**	**K_v**
De Compuerta	Totalmente abierta	3000	0,503	40	1,319	0,574
De Bola	Totalmente abierta	3000	0,126	10	2,639	0,144
Antirretorno	Totalmente abierta	3000	0,704	56	1,115	0,804
De Asiento	4,0	2600	0,905	72	0,852	1,377
		2000	0,503	40	0,880	1,293
		1200	0,185	15	0,870	1,320
	3,2	2600	1,006	80	0,809	1,530
		2000	0,440	35	0,940	1,131
		1200	0,226	18	0,787	1,616
	2,5	2600	1,886	150	0,590	2,868
		2000	1,157	92	0,580	2,973
		1200	0,440	35	0,564	3,142
	2,0	2600	5,470	435	0,347	8,318
		2000	3,269	260	0,345	8,402
		1200	1,069	85	0,362	7,630

Bibliografía

1. *Documentación de Prácticas del Laboratorio de Mecánica de Fluidos.* Mª Belén Güemez Bilbao, Alberto Peña Bandres y Gustavo Esteban. Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos de la ETSI de Bilbao. Febrero 2007. http://www.ingenierosbilbao.com/fondo/castellano/departamentos/nuclear/apuntes_y_examenes/apuntes/Practicas-01-02-16-2007.pdf
2. *Mecánica de Fluidos (Vol. 1 y 2) (Notas de Clase)*. Gustavo Esteban, Mª Belén Güemez Bilbao y Alberto Peña Bandres. Servicio de Publicaciones ETSI Bilbao. 2006

Notas

- En la realización de este informe, así como en la del trabajo previo se ha empleado exclusivamente software libre (excepciones hechas para el acceso a la *Documentación de Prácticas...* en formato electrónico, ya que tuvo que utilizarse una máquina con el sistema operativo *Microsoft Windows XP*® y el programa *Microsoft Internet Explorer 6*® y para visualizar in situ los datos experimentales del ensayo en la computadora disponible en el laboratorio, que no disponía del sistema operativo libre de la UPV/EHU, *EHUX* (http://ehux.ehu.es/)), siendo los programas más utilizados los siguientes:

1. *OpenOffice.org Writer*: Procesador de textos; redacción del informe y del cuestionario previo.
2. *OpenOffice.org Calc*: Hoja de cálculos; tablas, cálculos generales y gráficos de los datos teóricos y experimentales.
3. *The GIMP*: Retoque fotográfico.

- Copias de este documento, así como de las tablas empleadas están a disposición del público, bajo los términos de la licencia en http://www.archive.org/items/ETSI_Bilbao_MecanicaFluidos_Practica2, tanto en formato editable (*OpenDocument Text* y *OpenDocument Spreadsheet*), como en formato portable (*Portable Document Format*).
- Para contactar mediante correo electrónico con los autores remita sus dudas, comentarios, etc. a la siguiente dirección: ialonso006@ikasle.ehu.es

Licencia

Anexo 1: Tablas de propiedades del mercurio y el agua

Temperatura	ρ(H_2O)	ν(H_2O)	ρ(Hg)
[ºC]	[kg/m³]	[* 10^6 m²/s]	[kg/m³]
0	999,8	1,791	13595
1	999,9	1,731	13593
2	1000	1,674	13590
3	1000	1,62	13588
4	1000	1,568	13585
5	999,9	1,52	13583
6	999,9	1,473	13580
7	999,9	1,429	13578
8	999,9	1,387	13575
9	999,8	1,346	13573
10	999,7	1,308	13570
11	999,6	1,271	13568
12	999,5	1,236	13565
13	999,4	1,202	13563
14	999,2	1,17	13561
15	999,1	1,14	13558
16	998,9	1,11	13556
17	998,8	1,082	13553
18	998,6	1,055	13551
19	998,4	1,029	13548
20	998,2	1,004	13546
21	998	0,98	13543
22	997,8	0,957	13541
23	997,5	0,934	13538
24	997,3	0,931	13536
25	997	0,892	13534
26	996,8	0,873	13531
27	996,5	0,854	13529
28	996,2	0,835	13526
29	995,9	0,817	13524
30	995,7	0,8	13521
31	995,3	0,784	13519
32	995	0,768	13516
33	994,7	0,753	13514
34	994,4	0,738	13511
35	994	0,723	13509
36	993,7	0,709	13507
37	993,3	0,696	13504
38	993	0,683	13502
39	992,6	0,67	13499
40	992,2	0,658	13497

Anexo 2: Principales fórmulas empleadas en los cálculos

- **Número de Reynolds**

$$\mathrm{Re}=\frac{U_{\infty}\cdot L}{v}$$

Número adimensional que indica la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas; así el número de Reynolds será mayor cuando las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas, estableciéndose los valores límite teóricos de 4000, por encima del cual el régimen del fluido será turbulento (y las fuerzas viscosas serán despreciables) y de 2000, por debajo del cual el fluido estará en régimen laminar.

- **Ecuación de Haaland**

$$\frac{1}{\sqrt{(f)}}=-1{,}8\cdot\log\left[\left(\frac{\epsilon/D}{3{,}71}\right)^{1{,}11}+\frac{6{,}9}{\mathrm{Re}_D}\right]$$

$$\mathrm{Re}_D=\frac{U\cdot D}{v}$$

Aproximación de la ecuación de Colebrook que, al tomar forma explicita facilita el cálculo del coeficiente de fricción (f), al evitarse la realización de iteraciones de la versión original de la fórmula implícita. Es aplicable para regímenes turbulentos en tuberías circulares de diámetro D.

- **Expresión de Darcy Weisbach**

$$h_f=f\frac{L}{D}\frac{U^2}{(2\cdot g)}$$

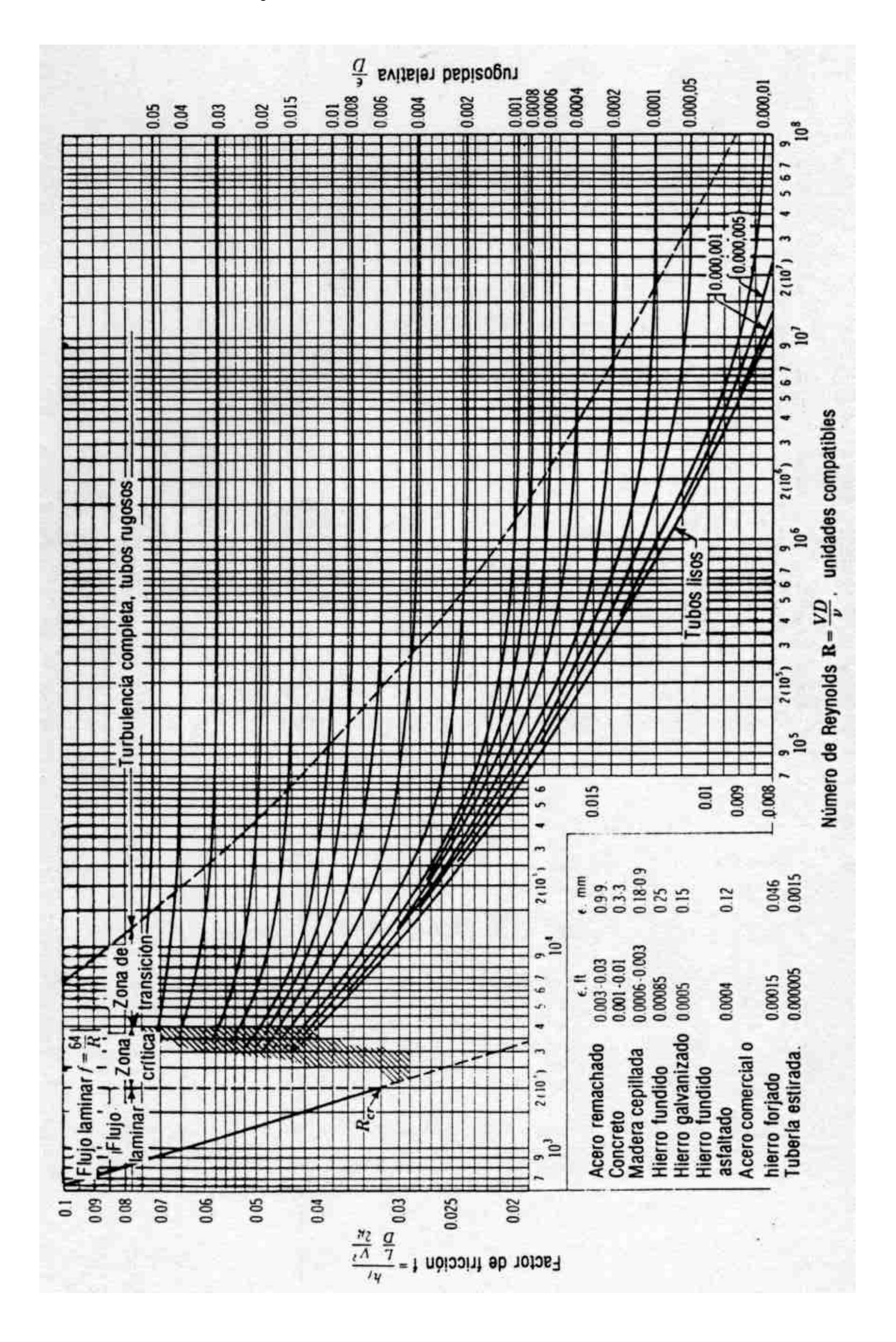
Pérdidas primarias de flujos turbulentos de fluidos incompresibles.

- **Pérdidas localizadas**

$$h_s=K\frac{U^2}{(2\cdot g)}$$

Pérdidas originadas por singularidades en la trayectoria del fluido. El coeficiente de pérdida de carga local (K) depende del tipo y las características geométricas de la singularidad.

Anexo 3: Ábaco de Moody



Anexo 4: Tablas empleadas para el trabajo previo y en el laboratorio